

Efectos de la ceniza volcánica sobre la función pulmonar en una cohorte de personas mayores de 45 años en Bariloche (Argentina)

Correspondencia:

Edgardo Sobrino

Domicilio postal: Dr Emilio Ravignani 2024 (C1414CPV)

- CABA-Argentina

Tel/Fax: (+54-11) 4777-8767

E-mail: dregardosobrino@gmail.com

Recibido: 24.03.2014

Aceptado: 04.11.2014

Autores: Sergio Benítez², Edgardo Sobrino¹, Matías Calandrelli², Laura Gutiérrez¹, Vilma Irazola¹, Adolfo Rubinstein¹

¹Instituto de Efectividad Clínica y Sanitaria (IECS) ²Sanatorio San Carlos de Bariloche

Resumen

Casi 500 millones de personas viven dentro de los límites de exposición de los volcanes activos. En junio de 2011, el complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle, situado en el norte de la Patagonia chilena, comenzó un ciclo eruptivo emitiendo un enorme volumen de cenizas. Los vientos dispersaron este material hacia el SE afectando a la ciudad de San Carlos de Bariloche, Argentina. El estudio de cohortes CESCAS y su rama respiratoria, PRISA (Pulmonary Risk in South America Study), se estaba realizando en esa ciudad. Se utilizaron los datos del estudio PRISA para tratar de responder a la pregunta de si la presencia de ceniza volcánica afectó la función respiratoria de los residentes de Bariloche. Tomamos muestras de 767 pruebas de función pulmonar durante los tres meses anteriores ($n = 297$) y seis meses después ($n = 470$) de la erupción volcánica. Los participantes no eran los mismos antes y después de la exposición, pero pertenecían a la muestra originalmente seleccionada e incluida en el estudio PRISA. El objetivo fue evaluar si la exposición a la ceniza volcánica se asoció a alteraciones en la función pulmonar evaluada por espirometría. No se encontraron diferencias en FEV1 pre-broncodilatador ($p = 0,30$), FEV1 post-broncodilatador ($p = 0,19$), FVC pre-broncodilatador ($p = 0,51$) o FVC post-broncodilatador ($p = 0,26$) entre los grupos no expuestos y expuestos. Tampoco hubieron diferencias en la tasa de respuesta a broncodilatador ($p = 0,87$) o en el subgrupo de asma y EPOC. La exposición a la ceniza volcánica no se asoció con ningún efecto sobre la función respiratoria en una cohorte representativa de la población de San Carlos de Bariloche.

Palabras clave: espirometría, erupciones volcánicas, cenizas volcánicas, desastres naturales, test de función respiratoria

Abstract

Effects of Volcanic Ash on Lung Function in a Cohort of People over 45 Years of Age in Bariloche (Argentina)

Almost 500 million people live within the exposure range of active volcanoes. In June 2011, the Puyehue-Cordón Caulle Volcanic Complex, located in northern Chilean Patagonia, began an eruptive cycle emitting an enormous volume of ash. Winds dispersed this material toward the SE, affecting the city of San Carlos de Bariloche, Argentina. The CESCAS cohort study and its respiratory branch, PRISA (Pulmonary Risk in South America Study), was underway in that city. We used data from the CESCAS/PRISA study to attempt to answer the question of whether the presence of volcanic ash affected the respiratory function of the residents of Bariloche. This study is nested within the CESCAS/PRISA study. We sampled 767 pulmonary function tests carried out within three months before ($n = 297$) and six months after ($n = 470$) the volcanic eruption. Participants were not the same before and after exposure, but belonged to the original sample included in the PRISA study. The objective was to evaluate whether exposure to volcanic ash was

associated to impaired lung function assessed by spirometry. No differences were found in the pre-bronchodilator FEV1 ($p = 0.30$), post bronchodilator FEV1 ($p = 0.19$), pre-bronchodilator FVC ($p = 0.51$) or post-bronchodilator FVC ($p = 0.26$) between the non-exposed and exposed group, nor in the rate of bronchodilator responsiveness ($p = 0.87$) or in the asthmatic and COPD subgroup. Exposure to volcanic ash was not associated to any effect on respiratory function in a representative cohort from the population of San Carlos de Bariloche.

Key words: spirometry, volcanic eruptions, volcanic ashes, natural disasters, respiratory function tests

Introducción

Más de 500 volcanes activos se encuentran dispersos por todo el mundo, amenazando a 455 millones de personas (el 9% de la población mundial)¹ con 40 a 50 erupciones por año. La caída de ceniza volcánica puede afectar extensas áreas involucrando a personas alejadas de los centros eruptivos². De esta manera las erupciones suelen ser de corta duración, pero el impacto puede ser generalizado y puede durar varios años³.

El 4 de junio de 2011, el complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle, ubicado en el norte de la Patagonia chilena ($40^{\circ} 35'25''$ S - $72^{\circ} 7'2''$ W) comenzó un ciclo eruptivo emitiendo un volumen de magma pulverizado y gases estimado en cien millones de toneladas con una altura de entre 7 y 10 km⁴. Los vientos movilizaron este material formando una pluma volcánica que se dispersó en sentido sudeste (SE), afectando a zonas pobladas de la región norte de la Patagonia argentina. En los pueblos más cercanos al centro eruptivo la ceniza se acumuló hasta 40 cm de espesor, su análisis mostró que la composición no incluía sílice en fase cristalina⁵ el que se ha asociado con insuficiencia respiratoria aguda y fibrosis pulmonar⁶. Las emisiones continuaron hasta principios de enero de 2012. Estas nuevas acumulaciones asociadas a la extensa removilización de las cenizas por la actividad humana y los fuertes vientos del oeste que prevalecen en la región mantuvieron expuesta a la población a altos niveles de material volcánico respirable. La emisión gaseosa del volcán no se ha estudiado.

El tamaño de las partículas es de capital importancia y se define en forma convencional como el diámetro aerodinámico, de modo que las partículas menores a 10μ de diámetro (PM10) son capaces de atravesar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio e impactar en la vía aérea menor y alvéolos⁷.

Los efectos respiratorios de la exposición a la ceniza volcánica han sido estudiados durante las últimas tres décadas. En mayo de 1980, el Monte St. Helens (EE.UU) entró en erupción y provocó la primera aproximación científica al estudio de los efectos sobre la función respiratoria medida por espirometría, mostrando un patrón obstructivo reversible en adultos gravemente expuestos⁸ y la ausencia de deterioro espirométrico en niños⁹. Desde ese momento, un número limitado de estudios han tenido resultados contradictorios respecto de los efectos de esta exposición sobre la función pulmonar¹⁰⁻¹¹⁻¹²⁻¹³. Este tema no se ha estudiado en el caso del volcán Puyehue, dado que las emisiones de cenizas y gases derivadas de diferentes volcanes difieren en tamaño, composición y concentración; el monitoreo de los efectos potenciales sobre la salud respiratoria de los sujetos expuestos deben formar parte de las medidas de salud pública a tomar en caso de estas catástrofes.

La ciudad de San Carlos de Bariloche se encuentra dentro de la zona más afectada, a unos 80 km del centro eruptivo, siendo la más grande de la región, con una población estable de 140.000 habitantes.

En el momento de la erupción, el estudio de cohortes CESCAS y su rama respiratoria PRISA (Pulmonary Risk in South America Study) estaba en marcha en esa ciudad; su protocolo ha sido publicado¹⁴. Este estudio se inició en enero de 2011 realizándose espirometría en la visita inicial, además de cuestionarios que evaluaron factores de riesgo de enfermedades respiratorias, mediciones antropométricas y toma de muestras de sangre. CESCAS / PRISA estaba en el período de reclutamiento al momento de la erupción.

En nuestro trabajo se utilizaron los datos del estudio PRISA para tratar de responder a la pregunta de si la presencia de ceniza volcánica afectó la función respiratoria de los residentes de San Carlos de Bariloche. La hipótesis testeada fue que

la presencia de ceniza volcánica podría afectar la función pulmonar de la población general de Bariloche.

El objetivo del estudio fue evaluar si a nivel poblacional la exposición a ceniza volcánica se asoció a cambios en las mediciones espirométricas.

También se analizaron los cambios espirométricos en el subgrupo de asmáticos y EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica) específicamente.

Materiales y Métodos

Participantes

Este estudio está anidado dentro del PRISA. El estudio PRISA es un estudio observacional, prospectivo de cohortes con al menos 4 años de seguimiento. Un total de 6000 personas no institucionalizadas (1500 participantes por centro) fueron reclutadas en Bariloche y otras tres ciudades de Argentina, Uruguay y Chile. Sujetos de 45 a 75 años de edad fueron enrolados con un método de muestreo por conglomerados polietápico.

Las personas identificadas por el muestreo fueron invitadas a participar. El entrevistador se puso en contacto con la familia y organizó una visita domiciliaria durante la que se completaron los cuestionarios, y una visita clínica durante la que se realizaron mediciones antropométricas, espirometría pre y post-broncodilatador y electrocardiograma así como la extracción de muestras de sangre¹⁵. El estudio fue aprobado por el comité de ética, los consentimientos informados fueron obtenidos durante la visita inicial.

Se tomaron para el análisis de 767 pruebas de función pulmonar llevadas a cabo dentro de los tres meses previos ($n = 297$, grupo pre-erupción) y seis meses posteriores ($n = 470$, grupo post-erupción) a la erupción volcánica, lo que corresponde

a todas las personas inscriptas en este período de tiempo. Los participantes en el presente estudio no eran los mismos antes y después de la exposición, pero pertenecían a la muestra poblacional originalmente seleccionada e incluida en el estudio PRISA (Fig. 1).

Las mediciones funcionales

Las espirometrías se realizaron con espirómetros (EasyOne™ - Medical Technologies, Chelmsford, Massachusetts y Zurich, Suiza), los que fueron controlados diariamente con una jeringa de tres litros. Las mismas fueron realizadas por personal entrenado siguiendo las directrices de la ERS/ATS (European Respiratory Society/American Thoracic Society)¹⁵. En resumen, el procedimiento se llevó a cabo con sujetos en posición de sentado, con clip nasal y uso de una boquilla desechable. Se realizaron hasta ocho maniobras de espiración forzada con la capacidad vital forzada (FVC) y el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) repetibles dentro de 150 ml. Luego se administró un broncodilatador beta-agonista (salbutamol 200 mcg) repitiéndose la espirometría 15 minutos más tarde bajo iguales criterios. Todos los métodos de campo habían sido probados en estudios piloto en cada sitio.

Todo el personal sanitario implicado participó en un entrenamiento de dos días sobre espirometría y cuestionarios aplicados que fue dirigido por el neumólogo coordinador principal del estudio (E.S.).

Las variables tomadas para el análisis entre los grupos pre-erupción y post-erupción fueron el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) pre y post-broncodilatador (Pre-BD, Post-BD), la capacidad vital forzada (FVC) Pre-BD, Post-BD y la respuesta al mismo definida como un aumento de 200 ml y del 12% de FVC y/o FEV1.

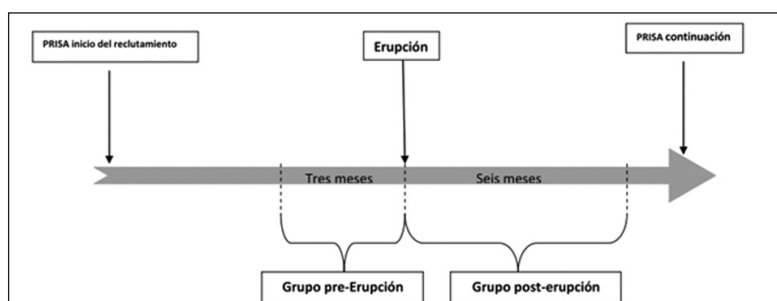


Figura 1. Definición de los grupos.

Otras mediciones

También se recogieron para este análisis la edad, género, nivel educativo (nivel máximo de educación completo alcanzado), tabaquismo actual (si fuma, cuántos cigarrillos por día, hace cuanto tiempo) obtenidos mediante encuesta GATS (Global Adult Tobacco Survey)¹⁶, asma actual (auto-reporte), enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC; definición de la Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease: FEV1/FVC < 70 y FEV1 < 80% del valor predicho post-BD)¹⁷, historia de tuberculosis (auto-reporte) y mediciones antropométricas (talla, peso). Los cuestionarios utilizados para definir asma y tuberculosis fueron similares a los realizados en el estudio PURE¹⁸.

Análisis estadístico

Las variables continuas se presentan como mediana y rango intercuartil (25-75%). Las variables categóricas se presentan como porcentajes. Para las variables continuas, se utilizaron modelos lineales generales para realizar comparaciones de grupos de mediciones funcionales después de ajustar por los posibles efectos de sexo, edad y altura. Del mismo modo, se utilizó la regresión logística para comparar los grupos para las variables categóricas. Por sub-análisis, cuando el tamaño de la muestra fue pequeño, usamos Wilcoxon la suma de rangos para comparar los grupos. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando Stata / SE 11.0.

Resultados

Fuera de una pequeña pero estadísticamente significativa diferencia de edad, no se encontraron diferencias entre los grupos en ninguna de las características demográficas y antropométricas (Tabla 1).

Mediciones funcionales

No se encontraron diferencias en el FEV1 pre-BD (p=0.3), FEV1 post-BD (p=0.19) así como en la FVC pre-BD (p=0.51) y post-BD (p=0.26) entre el grupo no expuestos y expuestos (Tabla 2).

No se encontraron diferencias significativas en la tasa de respuesta al broncodilatador entre ambos grupos (no expuesta 14,5%, expuesta 13,6%, p = 0,87).

La comparación de la función respiratoria entre asmáticos y EPOC, antes y después de la exposición a la ceniza volcánica, tampoco mostró diferencias significativas (Tabla 3).

Discusión

Este es el primer estudio realizado a nivel poblacional sobre los efectos de la exposición a la ceniza derivada de la actividad del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle.

La investigación en el marco de la situación de desastre vinculada con la erupción tiene obvias

TABLA 1. Datos demográficos y características antropométricas (n = 767)

	Grupo		P
	Pre-erupción (n = 297)	Post-erupción (n = 470)	
Edad (años)	60 (54 -66)	57 (51-65)	0.003
Hombres (%)	40.4	41.3	0.805
Años en la escuela	8 (6-12)	8 (6-12)	0.601
Fumador actual (%)	24.6	28.6	0.251
Asma (%)	5.5	4.7	0.665
Historia de Tuberculosis (%)	1.7	2.1	0.696
EPOC (%)	9.4	12.6	0.589
Talla (cm)	161.8 (155-168)	161.2 (154-169)	0.761
Peso (kg)	73 (62-84)	74.3 (63-84)	0.507

Los datos continuos expresaron como mediana e IR (rango intercuartil). P con valores de dos colas basados en Wilcoxon o prueba de Chi². Asma = auto-reporte, la historia Tuberculosis = auto-reporte, EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica, definido por espirometría.

TABLA 2. La función respiratoria entre los grupos (n = 767)

	Grupo	
	Pre-erupción (n = 297)	Post-erupción (n = 470)
FEV1 (L)		
Pre-BD	2.45 (1.2-2.9)	2.49 (2.0-3.0)
Post-BD	2,55 (2,1-3)	2,54 (2,2-3)
FVC (L)		
Pre-BD	3.19 (2.6-3.7)	3.2 (2.7-3.9)
Post-BD	3.2 (2.06-03.38)	3.21 (2.08-3.59)
BD respuesta positiva (%)	14.5	13.6

FEV1 = volumen espiratorio forzado durante el primer segundo; FVC = capacidad vital forzada; Pre BD = pre-broncodilatador; Post-BD = post-broncodilatador, respuesta positiva BD = broncodilatador respuesta al desafío. Los datos continuos expresaron como mediana e IR (rango intercuartil).

⁽¹⁾Los datos se ajustaron por efectos del sexo, edad, Talla y la presencia de la EPOC

TABLA 3. Análisis de la función respiratoria en los asmáticos y EPOC

	Asma (N = 38)	
	Pre-erupción (n = 16)	Post-erupción (n = 22)
Pre-BD FEV1	1.94 (1.03-2.07)	2.15 (1.8-a 2.6)
Post-BD FEV1	1.96 (1.5-3.0)	2.2 (1.6-2.7)
Pre-BD FVC	2.86 (1.9-3.3)	2.92 (2.5-3.5)
Post-BD FVC	2,75 (2,0-3,8)	2.85 (2.05-3.06)
	EPOC (N = 78)	
	Pre-erupción (n = 28)	Post-erupción (n = 50)
Pre-BD FEV1	2,73 (2,2-3,0)	2.79 (2.2-3.1)
Post-BD FEV1	2.78 (2.2-3.1)	2.87 (2.3-3.3)
Pre-BD FVC	3.42 (02.09-03.08)	3.38(02.08-03.09)
Post-BD FVC	3,49 (2,9-4,0)	3.43(02.09-03.08)

FEV1 = volumen espiratorio forzado durante el primer segundo; FVC = capacidad vital forzada; Pre BD = pre-broncodilatador; Post-BD = post-broncodilatador, BD respuesta positiva = respuesta a prueba con broncodilatador. Los datos continuos expresaron como mediana e IR (rango intercuartil).

Los valores de p de dos colas basadas en Wilcoxon la suma de rangos.

dificultades; el hecho que el estudio PRISA hubiera estado en marcha permitió abordar el impacto que este evento tuvo en la función respiratoria de

esta muestra, representativa de la población de la mayor ciudad dentro de la zona más afectada por la caída de ceniza.

Hemos encontrado que la exposición a la ceniza volcánica no se asoció con alteraciones de la función respiratoria en la población general estudiada ni en los subgrupos analizados. Algunos elementos merecen comentarios separados. En primer lugar, en relación con la identificación del peligro y el nivel de la exposición, la composición de la ceniza obtenida durante las primeras horas después de la erupción no mostró ninguna fase cristalina de sílice y 16,6% vol. de menos de PM10⁴ (rango respirable). Las mediciones de partículas en el aire mostraron este rango hasta enero de 2012.

Una encuesta realizada en la población general de Bariloche posterior a la erupción mostró que 100% de la población declaró haber estado expuesta al material en suspensión; más de la mitad reportaron una exposición moderada a severa (definida como remoción de ceniza o trabajo en exterior durante al menos 60 minutos). En esa encuesta menos de 1/3 de la población había reportado usar máscaras durante la exposición (definido como uso de cualquier dispositivo para la protección de la vía aérea de manufactura industrial)¹⁹. Dado que las personas incluidas en nuestro análisis son representativas de la población de la ciudad, no esperamos que el nivel de exposición al riesgo y el uso de protección fueran diferentes en la muestra estudiada que en la población general. Carecemos de datos para asegurar que las personas mayores o aquellos con enfermedad respiratoria conocida tuvieran un menor nivel de exposición que los sujetos más jóvenes o no enfermos, sin embargo, la encuesta mencionada no mostró que ser mayor o padecer enfermedades respiratorias se asociara con mayor uso de máscaras o niveles más bajos de exposición²⁰.

Por lo tanto, creemos que los sujetos incluidos en este estudio tenían una exposición similar a la población que representan y sus participantes sufrieron las mismas consecuencias que el resto de la población.

En segundo lugar, no fueron realizadas mediciones de gases en el área no pudiendo descartarse que la falta de cambios espirométricos se haya relacionado con la ausencia de dióxido de azufre, gas cuya presencia se encuentra asociada a síntomas respiratorios y anomalías de la función pulmonar^{20, 21}.

En tercer lugar, nuestro estudio no evaluó específicamente y no puede descartar alteraciones espirométricas en personas con exposiciones extraordinariamente intensas y prolongadas a las cenizas (por ejemplo: barrenderos, recolectores de residuos, madereros, etc.). Estas ocupaciones con alto y prolongado nivel de exposición se han asociado a alteraciones espirométricas reversibles durante el primer año de exposición⁸. Una obvia limitación de nuestro estudio es la comparación de la función respiratoria entre sujetos diferentes, es decir, no fueron las mismas personas las analizadas antes y después de la exposición. Esto impide ser concluyente a nivel individual pero permite ser categórico en un nivel poblacional.

En conclusión, se encontró que la exposición a la ceniza volcánica no se asoció, en un nivel poblacional, con ningún efecto sobre la función respiratoria de los residentes de la ciudad de San Carlos de Bariloche, Argentina.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Bibliografía

- Small C, Naumann T. Holocene volcanism and the global distribution of human population. *Environ Hazards*. 2001; 3: 93-109.
- Blong R (1996) Volcanic hazards risk assessment. In: Scarpa R, Tilling RI, eds. *Monitoring and mitigation of volcanic hazards*. Springer, Berlin Heidelberg New York, NY; 1996: pp 675-698.
- Rundell KW. Volcano commentary. *Clin Respir J*. 2011 Jan; 5(1): 1.
- Wilson T, Stewart C, Bickerton H, et al. The health and environmental impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle complex eruption: a preliminary report. *GNS Science Report* 2012/20. May 2012.
- Doga R, Serquis E. Análisis de cenizas volcánicas Complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle. Erupción 4 de junio de 2011. Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Bariloche. Unpublished data.
- Castranova V, Vallyathan V. Silicosis and Coal Workers' Pneumoconiosis. *Environ Health Perspect*. 2000; 1-08 (suppl 4): 675-684.
- Expert Panel on Air Quality Standards (1995) *Particles*. Department of the Environment, Her Majesty's Stationery Office, London, p 30.
- Buist AS, Vollmer WM, Johnson LR, Bernstein RS, McCamant LE. A four-year prospective study of the respiratory effects of volcanic ash from Mt. St. Helens. *Am Rev Respir Dis*. 1986; 133: 526-534.
- Buist AS, Johnson LR, Vollmer WM, Sexton GJ. Acute effects of volcanic ash from Mount Saint Helens on lung function in children. *Am Rev Respir Dis* 1983; 127: 714-719.
- Horwel CJ, Baxter PJ. The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bull Volcanol*. 2006; 69: 1-24.
- Bernstein RS, McCawley MA, Attfield MD, Green FHY, Olenchock SA, Dollberg DD Evaluation of the potential pulmonary hazards of breathing-zone exposures to Mount St. Helens volcanic ash in loggers: the results of short-term toxicological, environmental and epidemiological studies. Interim Report No. GHE-80-112, DHHS (NIOSH), Atlanta, GA.
- Bernstein RS, McCawley MA, Attfield MD, Green FHY, Olenchock SA. Epidemiological assessment of the risk for adverse pulmonary effects from persistent occupational exposures to Mount St. Helens volcanic ash (tephra). Mount St. Helens: one year later. Eastern Washington University Press, 1982, Cheney, WA, pp 207-213.
- Research Committee on Volcanic Emissions. Research report on the human effect of volcanic exhaust (Sakurajima), 1980-1981 report. Tuberculosis and chronic disease division, 1982, Public Health Bureau, Ministry of Health and Welfare, Tokyo.
- Rubinstein AL, Irazola VE, Bazzano LA, et al. Detection and follow-up of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and risk factors in the Southern Cone of Latin America. The pulmonary risk in South America (PRISA) study. *BMC Pulmonary Medicine*. 2011; 11:34.
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005; 26: 319-338.
- Campaign for Tobacco-free Kids: International Resource Center. [<http://www.tobaccofreecenter.org>].
- Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of COPD. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) 2014. Available from: <http://www.goldcopd.org/>.
- Yusuf S, Rangarajan S, Teo K, Islam S, Li W, Liu L, et al; PURE Investigators Cardiovascular risk and events in 17 low-, middle-, and high-income countries *N Engl J Med*. 2014 Aug 28; 371(9): 818-27.
- Tortosa F, Benitez S, Corrado R, Chiocconi L, Picone A. Efectos agudos de la exposición a ceniza volcánica en Bariloche. Resultados de un estudio de prevalencia [Abstract]. ALAT Congress 2012, ID289.
- Chang YK, Wu CC, Lee LT, Lin RS, Yu YH, Chen YC. The short-term effects of air pollution on adolescent lung function in Taiwan. *Chemosphere*. 2012; Mar; 87(1): 26-30.
- Hansell A, Oppenheimer C. Health hazards from volcanic gases: a systematic literature review. *Arch. Environ. Health* 2004; 59: 628-39.